



## **UM CONTRIBUTO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA NA GESTÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (ETAR)**

A. Manuela Gonçalves<sup>1</sup>, M. Teresa Amorim<sup>2</sup> e Marco Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CMAT – Centro de Matemática, DMA - Departamento de Matemática e Aplicações, Universidade do Minho, [mneves@math.uminho.pt](mailto:mneves@math.uminho.pt)

<sup>2</sup> 2C2T – Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, DET – Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, [mtamorim@det.uminho.pt](mailto:mtamorim@det.uminho.pt)

<sup>3</sup> CIDMA - Centro de Investigação e Desenvolvimento em Matemática e Aplicações, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda, Universidade de Aveiro, [marco@ua.pt](mailto:marco@ua.pt)

### **RESUMO**

A deterioração progressiva dos recursos hídricos e a grande quantidade de água poluída gerada pelas sociedades modernas faz com que as estações de tratamento de águas residuais (ETAR) tenham uma extrema importância na prevenção e controlo da qualidade da água. Numa ETAR, o processo de lamas activadas é a tecnologia mais comumente usada para remover poluentes orgânicos das águas residuais (por meio de suspensão de biomassa bacteriana). Esta é a tecnologia com melhor custo-benefício, é muito flexível e pode ser adaptada a diferentes tipos de águas residuais. Por conseguinte, é muito importante compreender e modelar os processos biológicos utilizados numa ETAR, por forma a estimar os custos de tratamento com maior precisão e estabelecer uma melhor relação custo-eficácia. Neste trabalho a discussão centra-se no estabelecimento de análises e modelos estatísticos a fim de quantificar e caracterizar padrões de interacção entre as águas residuais dos afluentes que são tributários para as ETAR, as variáveis hidro-meteorológicas, as variáveis físico-químicas e as variáveis de custos associados aos tratamentos. O procedimento de modelação estatística foi aplicado a um conjunto de ETAR localizadas na região Noroeste de Portugal, em que os dados foram observados num período de dois anos (de Janeiro de 2015 até Dezembro de 2016). As metodologias desenvolvidas contribuíram para o aumento da eficiência de gestão, em particular da eficiência energética e da sustentabilidade dos sistemas de tratamento e exploração de águas residuais.

**Palavras e frases chave:** ETAR, variáveis ambientais, físico-químicas, custos, sazonalidade, modelos lineares.

## 1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) têm um papel fulcral na conservação da Saúde Pública e na preservação da qualidade do meio receptor, minimizando os problemas de poluição da água causados por descarga de águas residuais não tratadas em meios hídricos. Com o objectivo de se obter um efluente com valores de qualidade compatíveis com os limites de descarga estabelecidos pelos normativos, são seleccionados o tipo de processo e as operações constituintes de uma ETAR, em particular o tipo de tratamento biológico. O principal processo biológico utilizado o tratamento por lamas activadas que consiste na produção de uma massa activada de microrganismos capazes de degradar a matéria orgânica por via aeróbia (processos que ocorrem na presença de oxigénio).

O tratamento de águas residuais é um processo de uso intensivo de recursos, principalmente energia. O consumo de energia representa uma parte significativa dos custos operacionais de uma estação de tratamento de águas residuais. Estudos recentes (Venkatesh e Brattebo, 2011, Elías-Maxil *et al.*, 2014) demonstraram que, numa ETAR convencional, cerca de 25% a 40% dos custos operacionais são atribuíveis ao consumo de energia, sendo que 70% desses consumos ocorrem nos sistemas de arejamento do tratamento biológico. Outra questão importante é a presença de infiltração de águas pluviais superficiais nas redes de esgoto, que sobrecarregam os efluentes e diluem a carga orgânica, provocando comportamentos hidrodinâmicos anómalos (Panepinto *et al.*, 2016).

Sendo absolutamente fundamental uma gestão apoiada na sustentabilidade e na estabilidade dos processos de tratamento de águas residuais, importa procurar obter da modelação estatística o alicerce necessário à fundamentação de determinados fenómenos verificados na exploração corrente dos sistemas de saneamento, de modo a que seja possível entender e prever comportamentos. O uso da modelação estatística e análises complementares é seguramente um contributo positivo no controlo do desempenho das ETAR, nomeadamente na rentabilização dos custos de exploração.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho envolveu o estudo de nove ETAR localizadas na região Noroeste de Portugal (cinco localizadas em regiões rurais e quatro em regiões urbanas). O estudo centrou-se na análise de quatro variáveis físico-químicas das águas residuais (que são tributárias das ETAR) e duas variáveis hidro-meteorológicas (precipitação pluviométrica (mm), número de dias (por mês) de precipitação pluviométrica).

As variáveis físico-químicas foram SSV - Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l), SST - Sólidos Suspensos Totais (mg/l), CQO - Carência Química de Oxigénio (mg O<sub>2</sub>/l) e CBO5 - Carência Bioquímica de Oxigénio em 5 dias (mg O<sub>2</sub>/l) (Barros *et al.*, 1995).

O estudo envolveu também a análise dos volumes de afluentes de águas residuais para as ETAR (m<sup>3</sup>) e duas variáveis económicas (variáveis de custo associadas aos tratamentos): consumo de energia KW/h (euros), lamas e subprodutos (euros).

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória de dados com o objectivo principal de identificar e caracterizar a gestão de processos das ETAR, particularmente os processos biológicos utilizados no tratamento de efluentes (sistemas de lamas activadas). Métodos baseados em procedimentos estatísticos foram desenvolvidos para quantificar e caracterizar a variabilidade das variáveis de qualidade tanto do esgoto bruto quanto do efluente primário que

abastece os reactores de aeração da maioria das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

A principal discussão centrou-se na formulação de modelos estatísticos (Costa e Gonçalves, 2012) para quantificar e caracterizar padrões de interação entre os afluentes das águas residuais às ETAR, as variáveis hidro-meteorológicas (como a pluviosidade), as variáveis físico-químicas e as variáveis de custo associados aos tratamentos. Em particular, a correlação entre as variáveis físico-químicas de controlo da eficiência dos processos, e destes com variáveis meteorológicas (pluviosidade), associada à definição criteriosa de funções-objectivo, foi essencial para a produção de novo conhecimento que suporte a minimização dos recursos utilizados nos sistemas de tratamento de águas.

Modelos de calibração e modelos lineares (Gonçalves e Alpuim, 2011) foram estabelecidos a partir de uma análise exploratória de dados visando estimar e prever os procedimentos de monitorização dinâmicos envolvidos nesses processos. Esses modelos integraram os comportamentos sazonais ao longo do ano, que têm um enorme impacto nas variações dos processos, considerando os dados observados nas estações seca e chuvosa. O processo de modelação considerou dois períodos hidrológicos: a estação seca (Julho, Agosto e Setembro) e a estação chuvosa (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro).

As metodologias desenvolvidas neste estudo incidiram essencialmente na exposição/justificação de certos fenómenos, e da sua relação de interdependência com diferentes variáveis, bem como os principais efeitos em matéria de custos de exploração. Este estudo relacionou variáveis físico-químicas, hidro-meteorológicas e económicas, tendo sido obtidos resultados que permitiram consubstanciar relações de dependência entre variáveis e efeitos que os técnicos que conduzem as instalações de tratamento apenas empiricamente conheciam, estando agora ao seu dispor esta análise, que lhes permite avaliar e prever comportamentos em diferentes subsistemas.

### **3. CONCLUSÕES**

A modelação estatística é uma ferramenta de extrema relevância na optimização das operações dos sistemas de tratamentos de águas residuais, nomeadamente na eficiência do tratamento das águas residuais afluentes às ETAR (qualidade do efluente final), bem como na diminuição dos consumos energéticos, de subprodutos e respectivos custos associados (em particular a optimização da etapa de arejamento, a principal responsável pelo consumo energético de uma ETAR).

Com este estudo, espera-se que as metodologias estatísticas adoptadas tenham uma relevante contribuição para a eficiência da gestão, em particular, para a eficiência energética, sustentabilidade dos sistemas de tratamento e exploração de águas residuais, assim como para a protecção da saúde pública e dos ecossistemas aquáticos.

### **AGRADECIMENTOS**

Marco Costa foi parcialmente financiado por fundos portugueses através do CIDMA (Centro de Investigação e Desenvolvimento em Matemática e Aplicações) e da FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia), através do projecto UID/MAT/04106/2013. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Centro de Matemática da Universidade do Minho por Fundos

Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projecto PEstOE/MAT/UI0013/2017. Este trabalho foi financiado pelos fundos da FEDER através do Programa Operacional dos Fatores de Competitividade - COMPETE e pelos fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projecto POCI-01-0145-FEDER-007136.

## Referências

- [1] Gonçalves A.M., Alpuim T. (2011). Water quality monitoring using cluster analysis and linear models. *Environmetrics* 22(8), 933-945.
- [2] Costa, M., Gonçalves, A.M., (2012). *Combining Statistical Methodologies in Water Quality Monitoring in a Hydrological Basin – Space and Time Approaches*. Water Quality Monitoring Assessment, ed. Kostas Voudouris and Dimitra Voutsas, 121-142. ISBN: 978-953-51-0486-5. InTech Published.
- [3] Barros, M.C., Mesquita, M., Vieira, P., Silva, M.C. (1995). *Laboratórios de Análises de Águas e Resíduos*. Volume 11, Edição LNEC.
- [4] Elías-Maxil JA., Peter van der Hoek J., Hofman J., Rietveld L. (2014). Energy in the urban water cycle: actions to reduce the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water. *Renew Sustain Energy Rev* 30, 808-820.
- [5] Panepinto D., Fiore, S., Zappone, M., Genon, G., Meucci L. (2016). Evaluation of the energy of a large wastewater treatment plant in Italy. *Applied Energy* 161, 404-4
- [6] Venkatesh G., Brattebo H. (2011). Energy consumption, costs and environmental impacts for urban cycle services: case study of Oslo (Norway). *Energy* 36, 792-800.